



Aplikasi Game Nine Men's Morris dengan Menggunakan Algoritma Minimax

Andi Purwanto Siringoringo¹, Desinta Purba²

^{1,2} Universitas Katolik Santo Thomas, Jln. Setia Budi No.479-F Medan, 061-8210161, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: Februari, 20, 2020

Revised: Maret, 2, 2020

Available online: April, 9 2020

KEYWORDS

Kecerdasan buatan, minimax, nine men's morris

CORRESPONDENCE

Phone: +6281362069808

E-mail: desinta.poerba@yahoo.com

ABSTRAK

Game papan merupakan salah satu game yang sering dipakai sebagai objek pembuatan kecerdasan buatan. Kecerdasan buatan merupakan suatu sistem dengan menggunakan algoritma tertentu sehingga sistem tersebut seolah-olah dapat berfikir seperti manusia. Banyak sekali algoritma yang digunakan untuk mengimplementasikan kecerdasan buatan. Salah satu dari algoritma itu adalah algoritma minimax. Algoritma minimax merupakan algoritma pencarian yang akan melakukan penelusuran pada setiap node hingga diperoleh nilai maksimum. Algoritma minimax terutama diaplikasikan pada game yang melibatkan dua orang yang saling berganti giliran bermain seperti checker, tic-tac-toe, nine men's morris dan lain sebagainya. Adapun game papan yang digunakan untuk menerapkan algoritma minimax adalah game nine men's morris. Game ini menerapkan kecerdasan buatan dengan menggunakan metode minimax yang akan memberikan peluang bagi komputer untuk mengambil langkah terbaik.

PENDAHULUAN

Game merupakan suatu aktivitas yang biasa dilakukan untuk tujuan memberi hiburan. Game dapat juga dilakukan untuk tujuan pendidikan. Dengan berkembangnya teknologi sekarang ini, game-game ini tidak hanya dapat kita jumpai pada kehidupan nyata, tapi juga dapat kita jumpai didalam dunia maya. Jenis nya pun semakin banyak dan bervariasi. Salah satu yang cukup menarik perhatian adalah game komputer. Game komputer sangat disenangi mulai dari anak-anak sampai orang dewasa, sehingga setiap hari dapat dilihat banyak orang bermain game baik itu berbasis online, offline maupun berbasis mobile. Game komputer ini juga bermacam-macam. Salah satu kelebihanannya adalah kita tidak harus mencari orang untuk menjadi lawan tanding jika ingin bermain karena game komputer ini sudah mendukung *single-player* mode dimana dapat bermain sendiri melawan komputer yang dirancang untuk dapat berlaku seperti pemain manusia atau yang sering dikenal dengan *Artificial Intelligence*. [1]

Artificial Intelligence (AI) merupakan salah satu teknologi komputer dan mesin yang terus berkembang dan juga merupakan salah satu bagian dari ilmu informatika yang mempunyai banyak sekali jenis algoritma. Contoh-contoh game yang menggunakan AI adalah game catur, go, othello, checkers, bridge, tic-tac-toe dan lain sebagainya. Dengan diterapkannya AI pada komputer maka komputer dapat mengambil langkah-langkah yang tepat yang dapat memberikan keuntungan pada komputer dan merugikan pemain manusia ketika bermain. Untuk membuat pemain merasa seperti melawan pemain manusia lainnya, diperlukan suatu algoritma yang dapat membuat AI ini mampu mengambil keputusan yang terbaik agar dapat mengalahkan pemain atau setidaknya menghalau pemain menang [2].

Algoritma minimax merupakan algoritma pencarian yang akan melakukan penelusuran pada setiap langkah hingga diperoleh nilai maksimum. Algoritma minimax digunakan untuk menentukan pilihan agar dapat memperkecil kemungkinan kehilangan nilai maksimal, yang akan mendeskripsikan dimana jika terdapat pemain yang mengalami pendapatan maka pemain lain akan mengalami kehilangan sebesar pendapatan tersebut. Algoritma minimax ini merupakan algoritma yang sering dipakai untuk masalah tersebut. Game nine men's morris merupakan salah satu contoh yang baik dan sederhana untuk diketahui bagaimana cara kerjanya [3].

LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Game

Game adalah sebuah permainan interactive yang membutuhkan komputer untuk bermain. Program komputer menerima input dari si pemain melalui pengendali dan menampilkan lingkungan buatan melalui TV atau layar monitor. Game merupakan suatu sistem yang memiliki aturan-aturan tertentu dimana pemain akan terlibat di dalam suatu permasalahan sehingga dapat menghasilkan suatu hasil yang dapat diukur yaitu menang atau kalah. Game umumnya melibatkan stimulasi mental, fisik atau keduanya. Banyak game yang dapat membantu mengembangkan keterampilan praktis yang berfungsi sebagai latihan, atau melakukan peran pendidikan, simulational atau psikologi [4], [5].

Game theory (teori permainan) adalah suatu cara belajar yang digunakan dalam menganalisa interaksi antara sejumlah pemain maupun perorangan yang menunjukkan strategi-strategi rasional.

Teori permainan dapat diklasifikasikan kedalam beberapa bagian [6], [7], yaitu:

1. Number of Players

Hampir semua jenis permainan papan yang memiliki sistem pencarian langkah berbasis algoritma pada *Artificial intelligence* (AI) hanya memiliki dua pemain. Sebagian besar bentuk dasar dari algoritma-algoritma tersebut hanya terbatas untuk dua pemain.

2. *Plies, Move and Turns*

Suatu hal umum dalam teori permainan adalah giliran (turns) seorang pemain sebagai suatu lapisan (ply) didalam suatu permainan dan pemain yang melakukan gilirannya dalam satu putaran disebut langkah (move).

3. *The Goal of the Game*

Tujuan umum permainan berbasis strategi adalah untuk mendapatkan kemenangan. Sebagai pemain, pemain menang jika semua lawan pemain kalah. Hal ini dikenal sebagai permainan zero-sum, yaitu kemenangan pemain adalah kekalahan pemain lain. Jika pemain mencetak 1 poin untuk menang, maka akan setara dengan mencetak -1 poin untuk kalah. Untuk kasus permainan non-zero-sum, semua bisa menang atau semua bisa kalah, pemain hanya akan fokus pada kemenangan.

4. *Information*

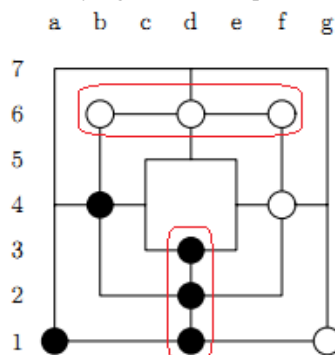
Dalam permainan papan seperti Mill, catur, Checkers, Go dan Reversi, kedua pemain mengetahui segala sesuatu tentang kondisi dalam permainan. Pemain mengetahui hasil dari setiap gerakan yang dilakukan dan pilihan yang akan dilakukan pemain untuk langkah berikutnya. Pemain mengetahui semua ini dari awal permainan. Jenis permainan ini disebut "informasi yang sempurna". Sedangkan dalam sebuah permainan seperti Backgammon, terdapat unsur acak didalamnya. Pemain sebelumnya tidak mengetahui langkah yang dapat diambil oleh pemain karena langkah tersebut bergantung pada nilai dadu yang dimainkan pemain. Pemain juga tidak dapat mengetahui langkah yang dapat diambil oleh lawan, karena pemain tidak dapat memprediksi nilai dadu lawan. Jenis permainan ini disebut "informasi yang tidak sempurna".

Kebanyakan permainan berbasis strategi merupakan "informasi yang tidak sempurna", karena terdapat beberapa unsur acak dalam melakukan suatu tindakan. Permainan dengan "informasi yang sempurna" akan lebih mudah untuk dianalisa. Banyak algoritma dan teknik untuk permainan berbasis *artificial intelligence* (AI) berasumsi bahwa terdapat informasi yang sempurna yang dapat disesuaikan untuk jenis permainan lain, tetapi biasanya hasil yang diperoleh akan menjadi lebih buruk.

2.2 Nine Men's Morris

Nine Men's Morris adalah sebuah permainan yang sudah sangat tua, bahkan salah satu yang tertua sepanjang sejarah. Permainan ini banyak ditemukan di berbagai negara. Papan tertua yang pernah ditemukan berada di Mesir, diperkirakan berasal dari 1400 SM. Nama Nine Men's Morris sendiri tercipta ketika permainan ini mencapai Inggris, jauh setelah permainan ini tercipta yaitu pada masa Middle Ages. Pada zaman inilah Nine Men's Morris meraih popularitas di antara kalangan masyarakat [8]. Permainan ini juga memiliki banyak versi. Nine Men's Morris memiliki 9 bidak untuk masing-masing pemain. Ada empat permainan sejenis yang memiliki aturan mirip tapi jumlah bidaknya berbeda yaitu Three Men's Morris, Six Men's Morris, Eleven Men's Morris dan Twelve Men's Morris. Selain itu, ada juga varian dengan aturan Nine Men's Morris yang dimodifikasi, contohnya Misere, Diagonals dan No Fly. Ada berbagai nama lain untuk Nine Men's Morris. Contohnya, di Jerman disebut Muhle, di Perancis disebut Jeu De Moulin atau Merelles, di India disebut Sujjua, di Cina disebut Sam K'i, di Mexico disebut Picaria, dan masih banyak lagi. Hal ini menunjukkan popularitas Nine Men's Morris yang melintasi banyak benua.

Pada permainan Nine Men's Morris, untuk mengalahkan lawan seorang pemain harus membentuk "mill" (atau disebut juga "morris") yaitu garis lurus dengan tiga bidak berwarna sama. Jika mill berhasil terbentuk, pemain berhak mengambil bidak pemain lain yang tidak berada di dalam garis mill. Hanya ada dua kemungkinan bentuk mill yang dapat diraih[9]. Kemungkinan pertama yaitu tiga bidak yang berada pada sisi yang sama dari persegi ketiga atau persegi kedua. Kemungkinan lain adalah tiga bidak yang berada pada garis pemisah dengan arah mata angin yang sama. Mill yang terbentuk dapat dilihat seperti pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Terbentuknya Mill [8]

Permainan ini terdiri dari tiga fase, dan pada ketiganya pemain dapat membentuk mill dan mengambil bidak pemain lawan.

1. Fase Pertama : Meletakkan Bidak

Pada fase ini, masing-masing pemain secara bergantian meletakkan bidaknya pada papan. Jika seorang pemain berhasil membentuk mill, pemain tersebut boleh mengambil bidak pemain lawan di papan. Fase ini berakhir ketika seluruh bidak telah diletakkan pada papan permainan atau diambil pemain lain.

2. Fase Kedua: Menggerakkan Bidak

Pada fase ini, pemain dapat menggeser bidaknya secara bergiliran sesuai dengan garis yang ada. Kedua pemain dapat saling berlomba untuk membentuk mill atau menghalangi lawan membentuk mill.

3. Fase Ketiga : Flying

Fase ketiga dimulai ketika seorang pemain hanya tinggal memiliki tiga bidak. Dalam fase ini pemain tersebut dapat memindahkan bidaknya ke posisi manapun di dalam papan.

Permainan berakhir berdasarkan tiga kondisi.

1. Kondisi pertama adalah salah satu pemain tidak bisa menggerakkan bidaknya kemanapun, maka pemain itu dinyatakan kalah.
2. Kondisi kedua adalah jika seorang pemain memiliki kurang dari tiga bidak, maka pemain itu dinyatakan kalah.
3. Kondisi ketiga adalah ketika posisi seluruh bidak terulang, maka permainan dinyatakan seri.

Permainan ini biasanya dimainkan oleh 2 orang pemain, tapi pada versi permainan komputer, pemain lawan dapat digantikan oleh komputer. Dalam permainan ini hasilnya dapat berupa menang, kalah, ataupun seri. Disini dengan adanya AI yang mampu meminimalisir kemungkinan untuk pemain menang, permainan ini akan menjadi sangat sulit untuk dimenangkan oleh pemain. Bahkan kemungkinan terbaik untuk pemain hanyalah seri. Dengan kata lain dengan menggunakan algoritma Minimax ini, komputer tidak akan pernah kalah (Winata, 2012).

2.3 Kecerdasan Buatan

Kecerdasan Buatan merupakan salah satu bidang ilmu komputer yang didefinisikan sebagai kecerdasan yang dibuat untuk suatu sistem dengan menggunakan algoritma tertentu sehingga sistem tersebut seolah-olah dapat berfikir seperti manusia. Kecerdasan buatan berkaitan dengan bagaimana komputer melakukan sesuatu tindakan rasional yang dapat didefinisikan sebagai cerdas. Definisi kecerdasan buatan lain juga diungkapkan oleh Rich dan Knight (1991), kecerdasan buatan merupakan sebuah studi tentang bagaimana membuat komputer melakukan hal-hal yang pada saat ini dapat dilakukan lebih baik oleh manusia. Ada tiga tujuan kecerdasan buatan yaitu: membuat komputer lebih cerdas, mengerti tentang kecerdasan, dan membuat mesin yang lebih berguna. Yang dimaksud kecerdasan adalah kemampuan untuk belajar dan mengerti dari pengalaman, memahami pesan yang kontradiktif dan ambigu, menanggapi dengan cepat dan baik atas situasi yang baru, menggunakan penalaran dalam memecahkan masalah serta menyelesaikannya dengan efektif [10], [11]

Kecerdasan buatan merupakan suatu hal yang dikembangkan pada sebuah sistem oleh para ahli untuk masa depan [3]. Beberapa bidang perkembangan pada kecerdasan buatan yaitu:

1. Sistem Pakar (*Expert System*)

Sistem pakar adalah program penasihat berbasis komputer yang mencoba meniru proses berpikir dan pengetahuan dari seorang pakar dalam menyelesaikan masalah-masalah spesifik. Contohnya adalah sistem pakar menentukan suatu jenis penyakit, sistem pakar untuk bisnis dan sebagainya.

2. Bahasa Alamiah (*Natural Language*)

Suatu teknologi yang memberikan kemampuan kepada komputer untuk memahami bahasa manusia sehingga pengguna komputer dapat berkomunikasi dengan komputer dengan menggunakan bahasa sehari-hari.

3. Robotik dan Sistem Sensor

Sistem sensor, seperti sistem vision, sistem tactile dan sistem pemrosesan sinyal jika dikombinasikan dengan AI, dapat dikategorikan kedalam suatu sistem yang luas yang disebut sistem robotik.

4. Computer Vision

Computer Vision merupakan suatu sarana untuk dapat menginterpretasikan gambar atau objek-objek yang tampak melalui komputer.

5. Permainan (Games)

Permainan (*Game Playing*) merupakan suatu bidang *artificial intelligence* yang sangat populer berupa permainan antara manusia melawan mesin yang memiliki intelektual untuk berpikir. Sebagai contohnya adalah permainan Nine Men's Morris.

Pencarian adalah suatu proses menemukan solusi yang tepat untuk sebuah pemecahan masalah. Dalam kecerdasan buatan, metode pencarian sangat menentukan tingkat sistem cerdas tersebut. Teknik pencarian ini terbagi atas 2, yaitu *blind search* (pencarian buta) dan *heuristic search* (pencarian heuristik). Pencarian buta merupakan pencarian yang penelusurannya dimulai dengan tidak ada informasi awal yang digunakan dalam proses pencarian [12], [13]. Contohnya adalah *Algoritma Breadth-First-Search (BFS)*, *Depth-First-Search (DFS)* dan *Iterative Deepening Search (IDS)*. Sedangkan pencarian heuristik merupakan pencarian yang penelusurannya dimulai dengan adanya informasi awal yang digunakan dalam proses pencarian. Contohnya adalah *Hill Climbing*, *Tabu Search*, *Genetic Algorithm*, *Ant Algorithm* dan *Simulated Annealing*.

Kualitas hasil pencarian pada suatu permainan bergantung kepada seberapa jauh algoritma tersebut dapat melihat langkah ke depan. Untuk Permainan dengan kedalaman atau jauhnya penglihatan langkah ke depan yang tidak terbatas, butuh waktu sangat lama untuk

mencari sebuah pemecahan masalah. Untuk menghindarkan pencarian menemukan jalan buntu atau terlalu lama mencari solusi, maka dapat digunakan algoritma Iterative Deepening Search (Kusumadewi, 2003).

2.4 Algoritma Minimax

Algoritma Minimax merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk meminimalkan kemungkinan kekalahan dan memaksimalkan kemungkinan kemenangan. Algoritma ini diterapkan dalam permainan yang dimainkan oleh dua pemain dan berbasis zero-sum seperti Mill, Checkers, Catur dan Reversi, yaitu suatu kondisi apabila terdapat pemain yang mengalami keuntungan, pemain lain akan mengalami kerugian senilai dengan keuntungan yang diperoleh lawan dan sebaliknya. Algoritma Minimax merupakan salah satu algoritma yang sering digunakan untuk game kecerdasan buatan yang dalam pencariannya pada pohon dengan kedalaman terbatas. Algoritma Minimax digunakan untuk memilih langkah terbaik, dimana kedua pemain akan saling berusaha untuk memenangkan permainan. Selain itu, algoritma Minimax ini bekerja secara rekursif dengan mencari langkah yang akan membuat lawan mengalami kerugian minimum. Algoritma Minimax mendeskripsikan kondisi apabila terdapat pemain yang mengalami keuntungan, pemain lain akan mengalami kerugian senilai dengan keuntungan yang diperoleh lawan dan sebaliknya. Algoritma Minimax akan melakukan pengecekan pada seluruh kemungkinan yang ada, sehingga akan menghasilkan pohon permainan yang berisi semua kemungkinan permainan tersebut. Dengan pohon permainan ini setiap pemain mengetahui langkah-langkah yang mungkin diberikan pada situasi permainan saat ini. Sehingga untuk setiap langkah dan semua langkah selanjutnya dapat diketahui. Dalam representasi pohon pada algoritma Minimax, terdapat dua jenis simpul, yaitu simpul min dan simpul max. Max akan memilih langkah dengan nilai tertinggi dan min akan memilih langkah dengan nilai terendah. Dalam penentuan keputusan max/min tersebut dibutuhkan suatu nilai yang merepresentasikan kerugian atau keuntungan yang akan diperoleh jika langkah tersebut dipilih. Untuk itulah disini digunakan sebuah fungsi heuristik.

Fungsi heuristik yang digunakan algoritma ini adalah fungsi heuristik statis. Fungsi heuristik digunakan untuk mengevaluasi nilai sebagai nilai yang merepresentasikan hasil permainan yang akan terjadi jika langkah tersebut dipilih. Dari nilai-nilai heuristik inilah komputer akan menentukan simpul mana dari pohon permainan yang akan dipilih, tentunya simpul yang akan dipilih tersebut adalah simpul dengan nilai heuristik yang akan menuntun permainan ke hasil akhir yang menguntungkan bagi komputer.

Algoritma Minimax dapat menghasilkan pilihan langkah yang baik dengan mengasumsikan bahwa pemain lawan akan selalu memilih langkah terbaik untuk dirinya dan terburuk bagi komputer. Prinsip dasar pada algoritma Minimax ini adalah jalur yang akan dipilih oleh komputer merupakan jalur maksimum (max node) yang akan menghasilkan nilai maksimum di jalur tersebut, dan saat lawan akan bermain akan meminimalkan (min node) nilai komputer. Jadi, komputer bertujuan untuk memaksimalkan kemungkinan nilai rendah yang akan diperoleh komputer. Namun, algoritma Minimax memiliki kelemahan. Algoritma ini menelusuri seluruh node yang ada pada pohon pencarian mulai dari kedalaman awal hingga kedalaman akhir, sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lama (Kusumadewi, 2003).

HASIL DAN PEMBAHASAN






3.1 Analisis Algoritma Minimax

Algoritma *Minimax* digunakan untuk menentukan pilihan agar dapat memperkecil kemungkinan kehilangan nilai maksimal, yang akan meminimalkan kemungkinan kekalahan dan memaksimalkan kemungkinan kemenangan. Algoritma ini diterapkan dalam game yang dimainkan oleh dua pemain dan berbasis zero-sum seperti *Nine Men's Morris* yaitu suatu kondisi apabila terdapat pemain yang mengalami keuntungan, pemain lain akan mengalami kerugian senilai dengan keuntungan yang diperoleh lawan dan sebaliknya. Algoritma *minimax* akan melakukan pengecekan pada seluruh kemungkinan yang ada, sehingga akan menghasilkan pohon game yang berisi semua kemungkinan *game* tersebut.

Algoritma *Minimax* dapat menghasilkan pilihan langkah yang baik dengan mengasumsikan bahwa pemain lawan akan selalu memilih langkah terbaik untuk dirinya dan terburuk bagi komputer. Prinsip dasar pada algoritma *Minimax* ini adalah jalur yang akan dipilih oleh komputer merupakan jalur maksimum (max node) yang akan menghasilkan nilai maksimum di jalur tersebut, dan saat lawan akan bermain akan meminimalkan (min node) nilai komputer. Jadi, komputer bertujuan untuk memaksimalkan kemungkinan nilai rendah yang akan diperoleh komputer.

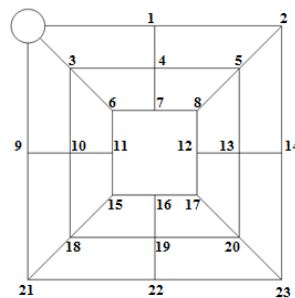
3.2 Analisis Kasus Minimax

Berikut akan dijelaskan bagaimana gambaran dari komputer untuk menentukan langkah terbaik yang dapat meminimalkan langkah lawan (pengguna) pada garis tersebut. Agar lebih mudah di pahami, kita coba asumsikan membuat sebuah aturan dengan memberikan nilai garis pada objek yang digunakan. Aturan dalam menentukan nilai garis dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.

OBJEK	NILAI
	1
	10
	2
	11
	0

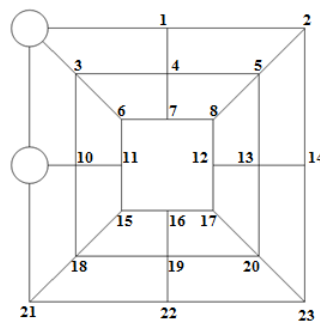
Gambar 2. Aturan menentukan nilai garis

Aturan dalam menentukan nilai pada garis. Pada garis terdapat satu objek berwarna putih maka garis bernilai 1. Pada garis terdapat dua objek berwarna putih maka nilai garis bernilai 10. Pada garis terdapat satu objek berwarna hitam maka nilai garis bernilai 2. Pada garis terdapat dua objek berwarna hitam maka nilai garis bernilai 11. Sedangkan pada garis terdapat dua objek berwarna hitam dan putih atau sebaliknya maka nilai garis bernilai 0. Dengan memberikan nilai pada garis akan membuat AI dapat menentukan langkah terbaik pada permainan.



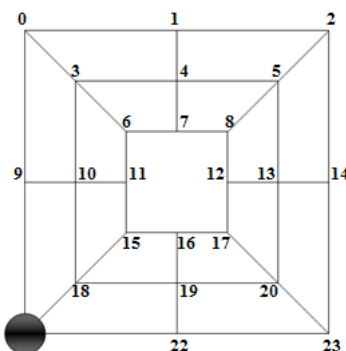
Gambar 3. Satu objek berwarna putih

Pada gambar 3.2 diatas terdapat satu objek berwarna putih dan menempati tiga garis yaitu : garis 1 (0, 1, 2) = 1, garis 2 (0, 9, 21) = 1, garis 3 (0, 3, 6) = 1



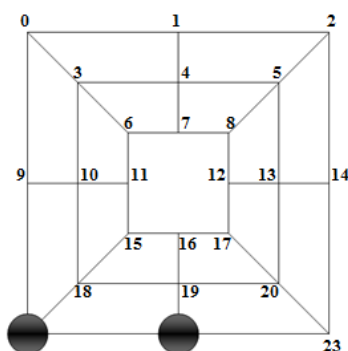
Gambar 4. Dua objek berwarna putih

Pada gambar 4 di atas terdapat dua objek berwarna putih dan menempati empat garis yaitu garis 1 (0,1,2) = 1, garis 2 (0,3,6) = 1, garis 3 (0,9,21) = 10, garis 4 (9,10,11) = 1



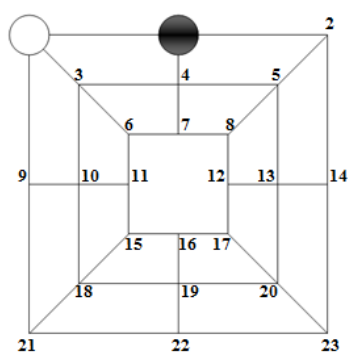
Gambar 5. Satu objek berwarna hitam

Pada gambar 5 di atas terdapat satu objek berwarna hitam dan menempati tiga garis yaitu garis 1 $(0,9,21) = 2$, garis 2 $(15,18,21) = 2$, garis 3 $(21,22,23) = 2$



Gambar 6. Dua objek berwarna hitam

Pada gambar 6 terdapat dua objek berwarna hitam dan menempati empat garis yaitu garis 1 $(0,9,21) = 2$, garis 2 $(15,18,21) = 2$, garis 3 $(21,22,23) = 11$, garis 4 $(16,19,22) = 2$

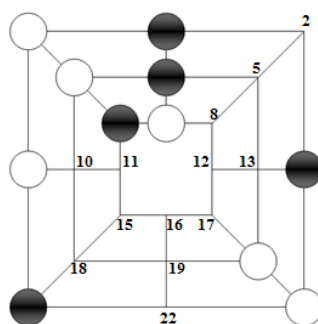


Gambar 7. Dua objek berwarna putih dan hitam

Pada gambar 7 di atas terdapat satu objek berwarna putih, satu objek berwarna hitam dan menempati empat garis yaitu garis 1 $(0,1,2) = 0$, garis 2 $(0,9,21) = 1$, garis 3 $(0,3,6) = 1$, garis 4 $(1,4,7) = 2$

Nilai-nilai garis tersebut yang akan membuat komputer untuk mengambil keputusan menentukan langkah terbaik. Komputer akan melakukan pengecekan pada seluruh garis yang terletak pada objek untuk mencari nilai-nilai garis. Setelah nilai-nilai garis ditemukan maka komputer membandingkan nilai-nilai garis tersebut. Dalam menentukan langkah terbaik komputer akan mencari nilai maksimal pada garis.

Untuk lebih jelasnya bagaimana komputer mencari langkah terbaik dapat kita lihat contoh berikut. Disini objek berwarna putih adalah pemain/manusia dan objek berwarna hitam adalah komputer. Kita asumsikan sudah terdapat enam objek berwarna putih dan lima objek berwarna hitam. Contoh Representasi objek dapat kita lihat pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Representasi objek

Komputer melakukan pengecekan pada garis dan mencari nilai-nilai garis berdasarkan aturan yang sudah dibuat. Setelah dilakukan pengecekan maka didapat nilai-nilai garis yang ditempati oleh objek yaitu :

Garis 1 $(0,1,2) = 0$

Garis 2 $(3,4,5) = 0$

Garis 3 $(6,7,8) = 0$

Garis 4 $(9,10,11) = 1$

Garis 5 $(12,13,14) = 2$

Garis 6 $(18,19,20) = 1$

Garis 7 $(21,22,23) = 0$

Garis 8 $(3,10,18) = 1$

Garis 9 $(6,11,15) = 2$

Garis 10 (5,13,20) = 1

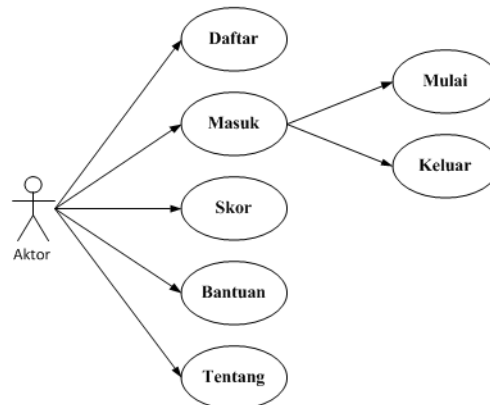
Garis 11 (2,14,23) = 0

Garis 12 (15,18,21)=2 Garis 13 (17,20,23) = 10

Berdasarkan nilai-nilai tersebut komputer akan mencari nilai maksimal. Jika nilai maksimal bernilai sama maka komputer akan mengambil secara acak dari nilai maksimal tersebut. Pada gambar kita akan mencari langkah mana yang akan di ambil komputer. Setelah melakukan pengecekan pada garis maka didapat nilai maksimal garis yaitu terdapat pada garis 13 (17, 20, 23) dengan nilai 10. Selanjutnya komputer akan melakukan pengecekan terhadap titik pada garis yaitu titik 17, 20 dan 23. Pada titik 23 sudah terdapat objek maka komputer pindah ke titik 20, pada titik 20 juga sudah terdapat objek maka komputer pindah ke titik 17, dan pada titik 17 tidak terdapat objek. Selanjutnya komputer akan memilih titik 17 sebagai langkah terbaik untuk meminimalkan kemungkinan kemenangan lawan.

3.3 Use Case Diagram

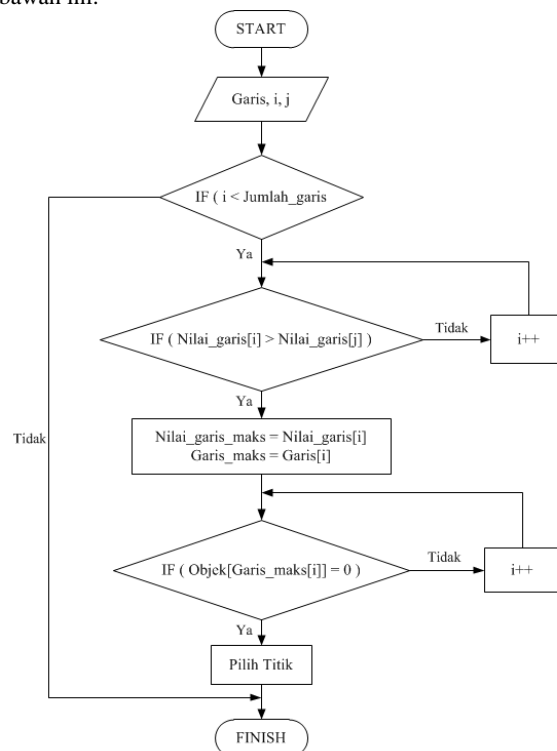
Use case mendeskripsikan interaksi tipikal antara para pengguna sistem dengan sistem itu sendiri, dengan memberi sebuah narasi tentang bagaimana sistem itu digunakan. Use case diagram untuk aplikasi game *Nine Men's Morris* ini dapat dilihat pada Gambar 9. Pada gambar terdapat beberapa use case, di antaranya: use case masuk, use case daftar, use case mulai, use case skor, use case bantuan, use case tentang dan use case keluar.



Gambar 9. Use Case Game

3.4 Flowchart Pengambilan Langkah

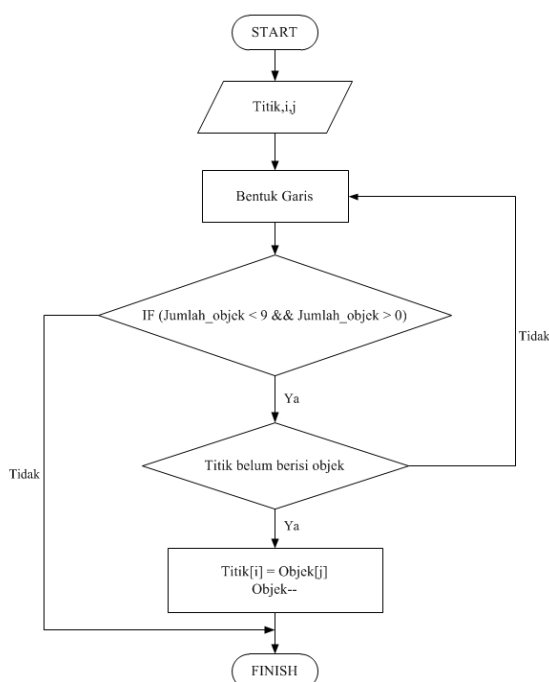
Bagan alur (flowchart) dalam pembuatan aplikasi game *nine men's morris* dalam menentukan langkah terbaik dapat dilihat seperti pada gambar 10 dan gambar 11 di bawah ini.



Gambar 10 Flowchart Pengambilan Langkah Komputer

Flowchart pada gambar 10 memperlihatkan cara pengambilan langkah terbaik. Penginputan nilai dan jumlah garis. Dilakukan pengecekan pada seluruh garis hingga diperoleh nilai-nilai pada garis. Nilai garis tersebut akan dibandingkan jika nilai garis lebih

besar dari nilai garis lainnya maka nilai tersebut yang menjadi nilai maksimal. Setelah nilai maksimal diketahui selanjutnya penempatan objek pada titik yang terdapat pada garis. Jika titik pada garis belum berisi objek maka objek akan diletakkan pada titik tersebut.



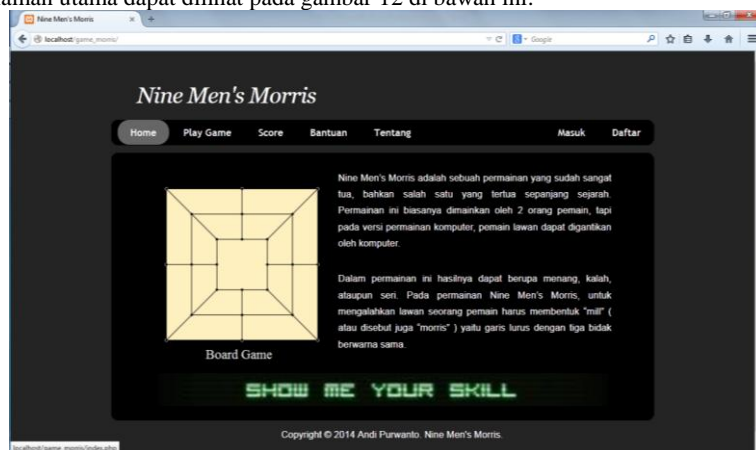
Gambar 11. Flowchart Pengambilan Langkah Pengguna

Flowchart pada gambar 11 memperlihatkan cara pengambilan langkah yang dilakukan oleh pengguna. Jika objek tidak sama dengan 0 dan titik belum berisi maka tempatkan objek pada titik tersebut.

Permainan yang telah dibangun haruslah sesuai dengan perancangan, kemudian akan diimplementasikan untuk mengetahui apakah sistem tersebut dapat berjalan sesuai dengan tujuannya atau tidak. Untuk mengimplementasikannya, terdapat beberapa tahap implementasi sehingga sistem yang dibangun dapat digunakan.

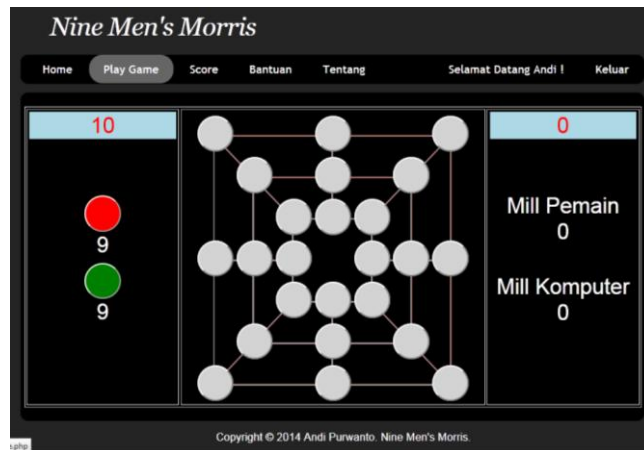
3.5. Antarmuka Halaman Utama

Tampilan halaman utama merupakan tampilan awal dari aplikasi. Pada halaman utama terdapat pengertian tentang permainan yang dibangun. Antarmuka halaman utama dapat dilihat pada gambar 12 di bawah ini.

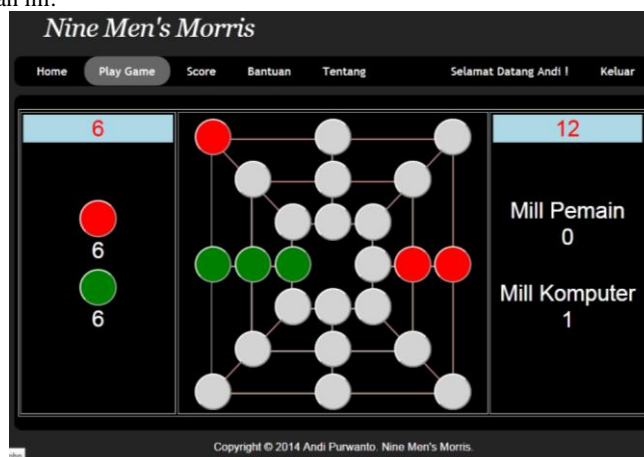


Gambar 12. Antarmuka Halaman Utama

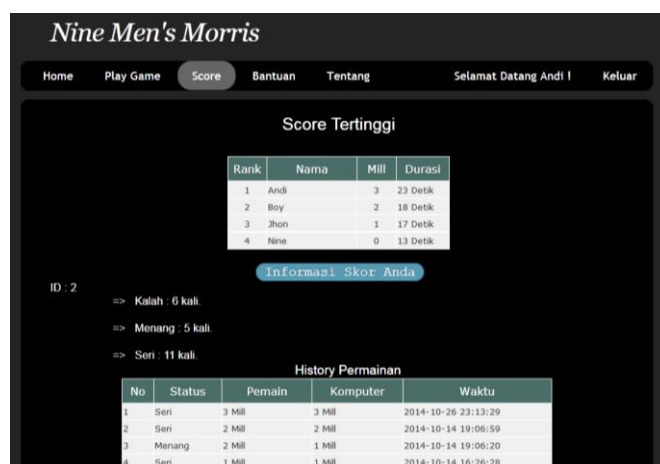
Di dalam halaman permainan ini terdapat waktu/durasi yang diberikan kepada pengguna untuk berpikir. Selain itu terdapat juga jumlah objek yang di gunakan dan jumlah mill yang telah terbentuk. Objek berwarna merah yaitu pemain/pengguna dan objek berwarna hijau yaitu komputer. Tampilan antarmuka permainan *nine men's morris* dapat dilihat seperti pada gambar 13 di bawah ini.

Gambar 13. Antarmuka Permainan *Nine Men's Morris*

Terbentuknya *mill* yaitu jika terdapat tiga buah objek berwarna sama pada garis. Tampilan antarmuka terbentuknya *mill* dapat dilihat seperti pada gambar 14 di bawah ini.

Gambar 14. Antarmuka Terbentuk *Mill*

Dalam tampilan permainan ini terlihat bahwa ada tiga buah objek berwarna hijau terdapat pada garis maka proses tersebut sudah berbentuk *mill*, yang mana *mill* terbentuk pada objek berwarna hijau yang digunakan oleh komputer. Pada halaman ini berisi informasi skor pemain dan skor tertinggi. Tampilan antarmuka halaman skor dapat dilihat seperti pada gambar 15 di bawah ini.



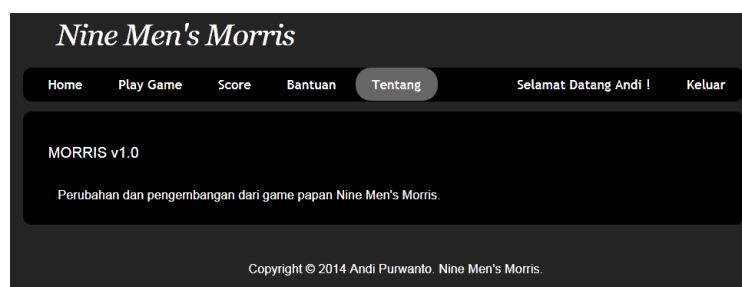
Gambar 15. Antarmuka Halaman skor

Pada halaman ini berisi informasi tata cara permainan *nine men's morris*. Tampilan antar muka halaman bantuan dapat dilihat seperti pada gambar 16 di bawah ini.



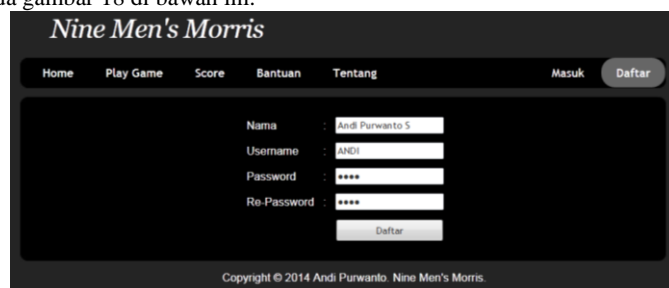
Gambar 16. Antarmuka Halaman Bantuan

Pada halaman ini berisi informasi mengenai aplikasi yang dibangun. Tampilan antarmuka halaman tentang dapat dilihat seperti pada gambar 17 di bawah ini.



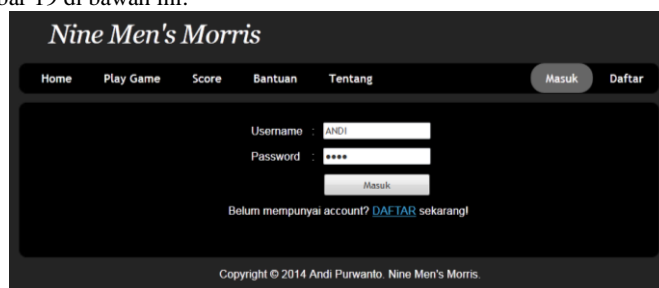
Gambar 17 Antarmuka Halaman Tentang

Pada halaman ini pengguna dapat mendaftarkan identitas yang akan digunakan untuk memulai *game*. Tampilan antarmuka halaman daftar dapat dilihat seperti pada gambar 18 di bawah ini.



Gambar 18. Antarmuka Halaman Daftar

Pada halaman ini terdapat tempat masuk yang akan digunakan pengguna untuk memulai *game*. Tampilan antarmuka halaman masuk dapat dilihat seperti pada gambar 19 di bawah ini.



Gambar 19. Antarmuka Halaman Masuk

KESIMPULAN

Setelah menerapkan algoritma minimax pada permainan nine men's morris, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Permainan nine men's morris merupakan permainan yang dimainkan oleh dua pemain dengan tujuan membentuk mill sebanyak mungkin. Algoritma minimax memiliki dasar berupa zero-sum game, dimana jika pemain mendapat nilai tertentu maka pemain lain akan kehilangan nilai yang sama dengan nilai tersebut.
2. Pencarian minimax untuk permainan nine men's morris merupakan metode pencarian yang tepat untuk mencari langkah yang tepat sehingga memperkecil peluang untuk kalah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. A. Khan and R. K. Pateriya, "Multiple Pattern String Matching Methodologies: A Comparative Analysis," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 2, no. 7, 2012.
- [2] B. Sinaga, P. M. Hasugian, and A. M. Manurung, "Sistem Pakar Mendiagnosa Kerusakansmartphone Android Menggunakan Metode Certainty Factor | Sinaga | Journal Of Informatic Pelita Nusantara," 2018. [Online]. Available: <http://e-jurnal.pelitanusantara.ac.id/index.php/JIPN/article/view/288>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [3] C. Waruwu and D. Purba, "Implementasi Algoritma Minimax Dalam Game Othello," vol. 02, pp. 58–68, 2017.
- [4] E. R. Manik, S. Utara, T. Limbong, and S. Utara, "Aplikasi Pembelajaran IPA Tentang Fauna Model Game untuk Sekolah Dasar dengan Metode Computer Assisted Instruction," vol. 4, no. 2, pp. 136–141, 2019.
- [5] T. Limbong, Sriadhi, and E. Napitupulu, "Implementation of Linear Congruent Method in Learning Application Batak Toba Script with Game Model," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 3984–3988, 2019, doi: 10.35940/ijrte.D8576.118419.
- [6] Dahlilah, *Game Online dan Interaksi Sosial*. Paradigma Madani, 2015.
- [7] Ayu Wulandari, "Membuat Game Pesawat dengan Adobe Flash," 2010. [Online]. Available: <http://www.news.palcomtech.com/membuat-game-pesawat-dengan-adobe-flash/>. [Accessed: 17-Jan-2019].
- [8] W. B. Loewer, "The Effects of Rule Variations on Perfect Play Databases for Nine Men's Morris," no. July, 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.4972.4407.
- [9] D. Walker, "Nine Men's Morris," *Tradit. board game Ser. leaflet #2 Nine Men's Morris*, 2011.
- [10] R. Ambarita, "Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Mainboard Komputer," *IJIS - Indones. J. Inf. Syst.*, vol. 2, no. 1, 2017, doi: 10.36549/ijis.v2i1.20.
- [11] S. Riza and R. Agustina, "Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Komputer dengan Metode Forward Chaining dan Certainty Factor di Universitas Kanjuruhan Malang - Neliti," 2014. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/183673/sistem-pakar-diagnosa-kerusakan-komputer-dengan-metode-forward-chaining-dan-cert>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [12] T. S. Alasi, "Penerapan Algoritma Algoritma Boyer Moore untuk Penyaringan Pesan dan Algoritma Hill Cipher dalam Keamanan Pesan Teks Berbasis Web Chat," *KAKIFIKOM (Kumpulan Artik. Karya Ilm. Fak. Ilmu Komputer)*, vol. 02, no. 338, pp. 73–79, 2019.
- [13] L. Sitorus, "Algoritma dan Pemrograman," *Andi Yogyakarta*, 2015. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=MRHwCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Lamhot+Si torus%22&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjz6iIjZfnAhVp7XMBHYf7C0QQ6AEIKjAA#v=onepage&q&f=false>. [Accessed: 22-Jan-2020].